การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

การดัดแปรผงสำเร็จรูป BASF เพื่อใช้ในกระบวนการอัดรีด

Modification of BASF Feedstocks for Particulate Extrusion

ภาณุ เวทยนุกูล[1] อรมณี คูวัฒนาชัย[1] มนภาส มรกฎจินดา[1] ธัญพร ยอดแก้ว[1] นาตยา ต่อแสงธรรม[1]
รุ่งทิพย์ กระต่ายทอง[1] พงศักดิ์ วิลา[1] ธเนศ รัตโนชัยกุล[2] ธาดา บิณฑวิหค[3] และเรืองเดช ธงศรี[1]

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
โทร 0-2564-6500 โทรสาร 0-2564-6403 *อีเมล์ bhanuv@mtec.or.th
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90110
[3]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 5002

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ผงโลหะสำเร็จรูปสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูป 2 ชนิด คือ เหล็กกล้าไร้สนิม 316L และทังเสตน ได้ถูกดัดแปรด้วยการเติมผงวัสดุชนิดอื่นลงไป โดยผงเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ถูกเติมด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์ และ ทังเสตนถูกเติมด้วยทองแดง การผสมส่วนผสมเข้าด้วยกันอาศัยเครื่งผสมแบบแกนผสมคู่ ส่วนผสมที่ได้จะนำไปเผาไล่ตัวประสานและเผาประสาน โดยยังไม่ผ่านกระบวนการอัดรีด เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของผงหลังการผสม โครงสร้างจุลภาคของส่วนผสมแสดงให้เห็นว่าผงที่เติมลงไปสามารถเข้ากับส่วนผสมหลักได้ดี และแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการผสมว่าอยู่ในระดับที่ใช้งานได้ จากการนำส่วนผสมดังกล่าวไปทดลองอัดรีด พบว่าเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ผสมซิลิกอนคาร์ไบด์สามารถอัดรีดได้ ในขณะที่ผงทังเสตนผสมทองแดงยังต้องการการพัฒนาเพื่อให้อัดรีดได้ดีขึ้น

Abstract

In this study, two commercial BASF feedstocks (the feedstock is a common name of a homogeneous mixture of particulate powder and organic binder) of 316L and W were admixed with additives. The additive for 316L was SiC powder and for W was Cu powder. Mixing was carried out by using a twin screw mixer. The prepared feedstocks were debinded and sintered (without being extruded). Microstructures of the sintered 316L-SiC and W-Cu materials exhibited homogeneous distribution of additives (SiC and Cu particles). This indicated that mixing performance was acceptable. Preliminary extrusion of the prepared feedstocks showed that the 316L-SiC feedstock was successfully extrudable but the W-Cu feedstock needed further improvement.

1. คำนำ

กระบวนการอัดรีดผงโลหะ (Powder extrusion) จัดเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะหนึ่งในกระบวนการทางโลหะผงวิทยา (Powder metallurgy) โดยผงโลหะจะถูกผสมกับสารโพลิเมอร์ เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวประสานทำให้ผงโลหะสามารถยึดเกาะกันได้และทำให้ส่วนผสมมีลักษณะเป็นของไหลที่นิ่มตัวจนสามารถอัดรีดผ่านช่องเปิดของแม่พิมพ์ได้เมื่อได้รับแรงบีบอัด กระบวนการนี้เหมาะสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่และมีขนาดยาว [1] ภายหลังจากผ่านการอัดรีดแล้ว ชิ้นงานจะผ่านเข้าสู่กระบวนการเผาไล่ตัวประสาน (Debinding) และการเผาประสาน (Sintering) เช่นเดียวกับชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการโลหะผงวิทยาโดยทั่วๆ ไป

หนึ่งในกระบวนการทางด้านโลหะผงวิทยาที่มีความคล้ายคลึงกับการอัดรีดผงโลหะ คือ การฉีดขึ้นรูปผงโลหะ (Metal injection molding) ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการผลิตชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและมีความซับซ้อนสูง ทำให้ผงสำเร็จรูป (Feedstock) สำหรับงานฉีดขึ้นรูปมีมากมายหลายรูปแบบตามแต่ประเภทของสารโพลิเมอร์ที่ใช้ ในขณะที่ผงสำหรับกระบวนการอัดรีดยังไม่มีผู้ผลิตให้ความสนใจมากนัก งานวิจัยนี้มีแนวความคิดในการดัดแปลงผงสำเร็จรูปที่ใช้ในการฉีด มาปรับใช้ในกระบวนการอัดรีด โดยมีการเติมผงวัสดุอื่นลงไปเพื่อช่วยในการปรับปรุงสมบัติของวัสดุด้วย [2]

ผงโลหะสำเร็จรูปที่ใช้ในกระบวนการฉีด (BASF feedstocks) 2 ตัวอย่าง คือ เหล็กกล้าไร้สนิม 316L และทังเสตน ถูกดัดแปรโดยการเติมผงวัสดุอื่นลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติของเนื้อวัสดุ สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม 316L จะถูกเติมด้วยผงซิลิกอนคาร์ไบด์ เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งและการทนต่อการขัดสี ในขณะที่ผงทังเสตนจะถูกเติมด้วยทองแดง เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเผาประสาน งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมการเข้ากันของเนื้อวัสดุในขั้นตอนการผสม มีการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการผสม และนำผงที่ผสมแล้วมาทดลองอัดรีดจริง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอัดรีดว่ามี

ความเปลี่ยนแปลงจากผงปกติอย่างไร และมีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงไนในการดัดแปลงผงสำเร็จรูปในกระบวนการฉีดขึ้นรูป มาใช้ในกระบวนการอัดรีด

2.วิธีการทดลอง

ผงโลหะสำเร็จรูปสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูป 2 ชนิด คือ เหล็กกล้าไร้สนิม 316L และทังเสตน (BASF Feedstock) ได้ถูกดัดแปรด้วยการเติมผงวัสดุชนิดอื่นลงไป ในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผงโลหะ โดยผงเหล็กกล้าไร้สนิม ถูกเติมด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์ในขณะที่ทังเสตนถูกเติมด้วยทองแดง การตรวจสอบน้ำหนักผงโลหะในผงสำเร็จรูป ใช้เทคนิคการวิเคราะห์เทอร์โมกราวิเมทริก (Thermogravimetric Analysis, TGA) ควบคู่กับการเปรียบเทียบโดยการเผาไล่ตัวประสานและเผาประสานในเตาเผาจริง

การผสมผงวัสดุเข้าด้วยกันอาศัยเครื่องผสมแบบแกนผสมเกลียวหนอนคู่ (Twin screw mixer) ใช้อุณหภูมิขณะผสม 190 องศาเซลเซียส ขณะที่ปรับเปลี่ยนเวลาผสม คือ 30 60 และ 90 นาที

ผงที่ผ่านการผสมแล้วจะนำมาเผาไล่ตัวประสานที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงภายใต้บรรยากาศกรดไนตริก และเผาประสานที่ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจน หลังจากเผาประสานแล้ว ชิ้นงานจะถูกนำมาตัดและขัดเพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคและตรวจสอบการกระจายตัวของผงวัสดุที่ผสมเพิ่มเข้าไป ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การทดสอบพฤติกรรมการฉีดขึ้นรูปจริง จะถูกตรวจสอบในขั้นตอนสุดท้ายโดยใช้ผงวัสดุดังกล่าวอัดรีดผ่าน เครื่องอัดรีดขนาด 100 ตัน โดยอัดรีดชิ้นงานเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ที่อุณภูมิ 180 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นชิ้นงานที่ผ่านการอัดรีดจะนำมาตรวจสอบสภาพผิวการอัดรีด และความแน่นตัวในแนวภาคตัดขวาง และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาด

3. ผลการทดลอง

3.1 การตรวจสอบน้ำหนักผงโลหะในส่วนผสมสำเร็จรูป

เนื่องจากการเติมผงวัสดุลงในผงโลหะสำเร็จรูปจำเป็นต้องทราบเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของผงโลหะในส่วนผสมทั้งหมด การวิเคราะห์เทอร์โมกราวิเมทริก และการชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบโดยการเผาไล่ตัวประสานและเผาประสานในเตาเผาจริง จึงจำเป็นต้องดำเนินการก่อนการผสมผง ปริมาณของสารโพลิเมอร์ที่ใช้เป็นตัวประสานถูกคำนวณจากน้ำหนักที่หายไปในระหว่างกระบวนการเพิ่มอุณหภูมิในการเผา ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1

จากผลที่แสดงในตารางที่ 1 พบว่าผงสำเร็จรูปทั้งสองชนิดใช้ปริมาณโพลิเมอร์ตัวประสานไม่เท่ากัน โดยผงเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ใช้โพลิเมอร์ในปริมาณมากกว่า เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักที่หาได้จากทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกัน โดยผลที่ได้จากการเผาไล่ในเตาเผาจริงจะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลจากการเผาไล่ภายใต้บรรยากาศกรดไนตริก ซึ่งสามารถกำจัดสารโพลิเมอร์ออกไปได้ดีกว่าเตาเผาของเครื่องเทอโมกราวิเมทริก โดยในการผสมผงในขั้นตอนต่อไปเลือกใช้ค่าจากการเผาไล่ในเตาเผาจริงในการคำนวณปริมาณผงวัสดุที่จะเติมเข้าไป

ตารางที่ 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของโพลิเมอร์ตัวประสาน

วัสดุ	เทอร์โมกราวิเมทริก (% โดยน้ำหนัก)	เผาไล่ในเตาเผา (% โดยน้ำหนัก)
316L	8.00	8.23
ทังเสตน	6.04	6.31

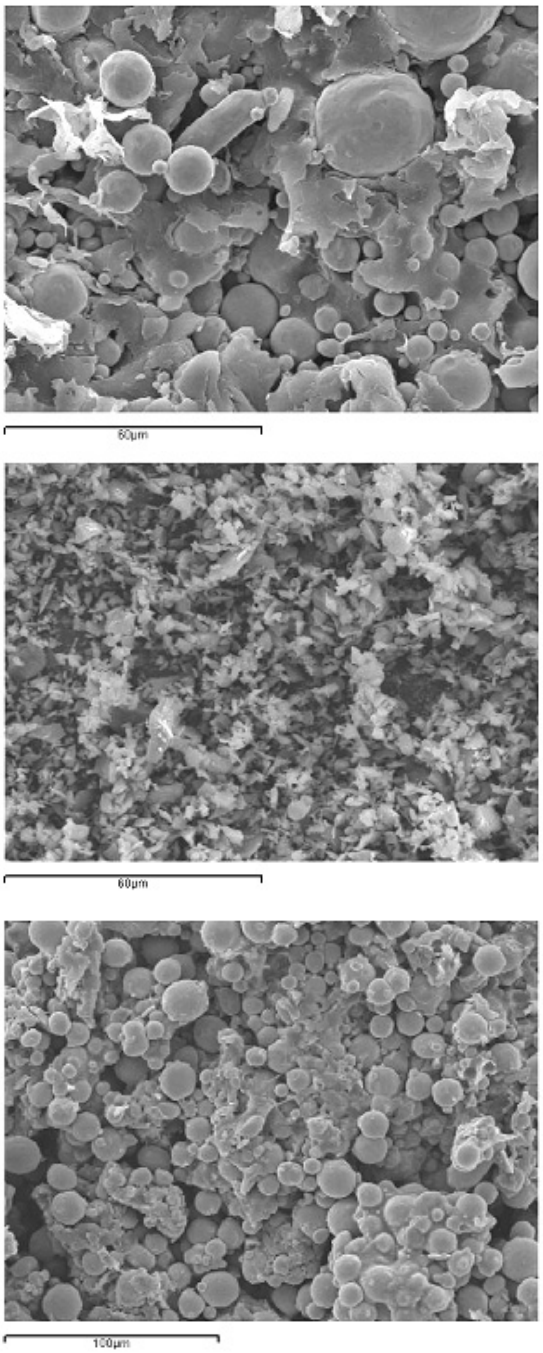
3.2 การผสมผงโลหะ

ในการผสมผงโลหะเข้ากับผงวัสดุ ทำโดยการอุ่นผงสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียสและกวนจนกระทั่งผงสำเร็จรูปนิ่มตัวมีลักษณะเป็นครีม จากนั้นจึงค่อยๆ ผสมผงวัสดุลงตัวเติมไปทีละน้อยจนหมด เนื่องจากผงสำเร็จรูปและผงวัสดุที่เติมเข้าไปมีสีที่แตกต่างกัน การสังเกตเนื้อของของผสม จึงเป็นการระบุได้เบื้องต้นว่าการผสมเข้ากันดีหรือไม่ โดยพบว่าการผสมที่ 30 นาที ยังปรากฏลักษณะเนื้อที่มีการแยกชั้นและแยกสี แต่เมื่อเพิ่มเวลาการผสมเป็น 60 นาที พบว่าเนื้อมีความสม่ำเสมอมากขึ้นและไม่ปรากฏการแยกชั้นแยกสี เมื่อเพิ่มเวลาผสมเป็น 90 นาที พบว่าของผสมเข้ากันได้ดีเช่นกันแต่สารโพลิเมอร์มีการระเหยโดยมีควันและกลิ่นเกิดขึ้นจากการผสม ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลาในการผสมเป็น 60 นาที โดยคาดว่าของผสมที่เวลานี้ของผสมสามารถเข้ากันได้ดี โดยที่สารโพลิเมอร์ไม่เกิดการสลายตัวมากจนเกินไป ทั้งนี้ยังต้องอาศัยการศึกษาโครงสร้างจุลภาคเพื่อดูลักษณะการกระจายตัวในการยืนยันสมมติฐานในขั้นตอนต่อไป

3.3 โครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบลักษณะผงวัสดุตั้งต้นทั้งหมดก่อนการผสม จะช่วยให้สามารถจำแนกผงต่างๆ เมื่อผสมวัสดุเข้ากันแล้วได้ง่ายขึ้น ลักษณะผงชนิดต่างๆ แสดงในรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่าผงเหล็กกล้าไร้สนิม 316L และผงทังเสตนสำเร็จรูปมีผงเป็นลักษณะทรงกลม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของผงที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป [3,4] และมีสารโพลิเมอร์ลักษณะเป็นแผ่นเยื่อกระจายตัวอยู่ทั่วไปในเนื้อผงวัสดุ ผงซิลิกอนคาร์ไบด์มีขนาดโดยรวมเล็กกว่าผง 316L และมีการเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนตามลักษณะของผงเซรามิก ในขณะที่ผงทังเสตนมีขนาดเล็กกว่าผงทองแดง โครงสร้างจุลภาคของผงวัสดุที่ผ่านการผสม เผาไล่ตัวประสานและเผาซินเตอร์แล้ว แสดงในรูปที่ 3 และ 4

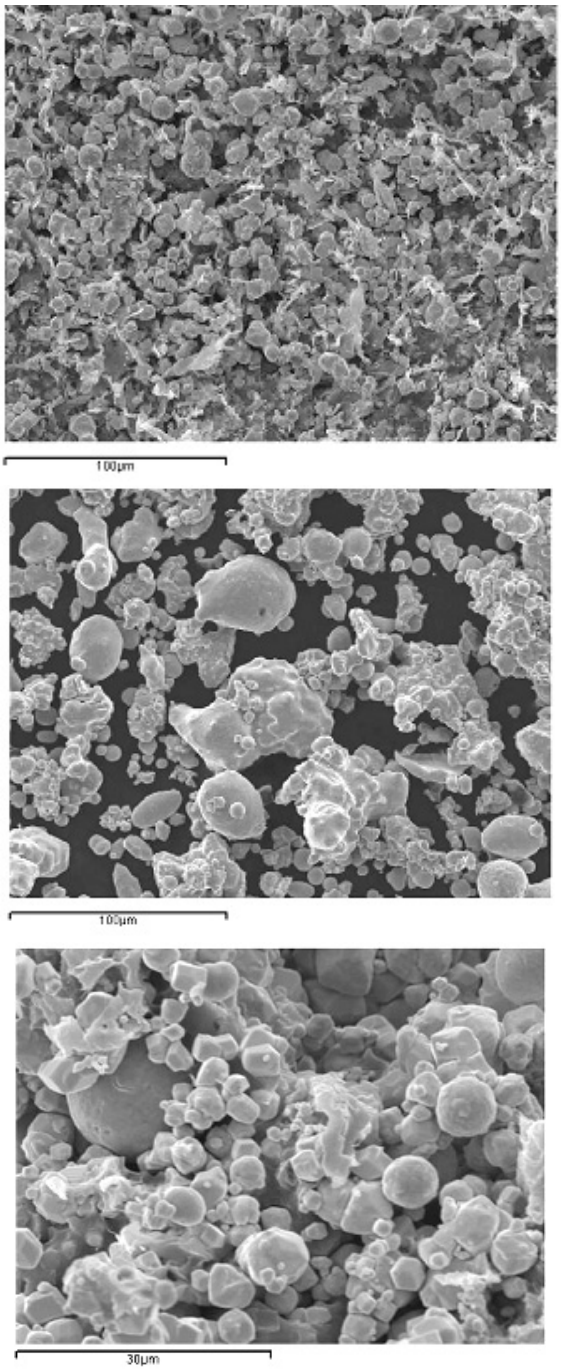


รูปที่ 1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
แสดงลักษณะของผง 316L

ก) ผงเหล็กกล้าไร้สนิม 316L สำเร็จรูป

ข) ผงซิลิกอนคาร์ไบด์

ค) ผงเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ผสมซิลิกอนคาร์ไบด์

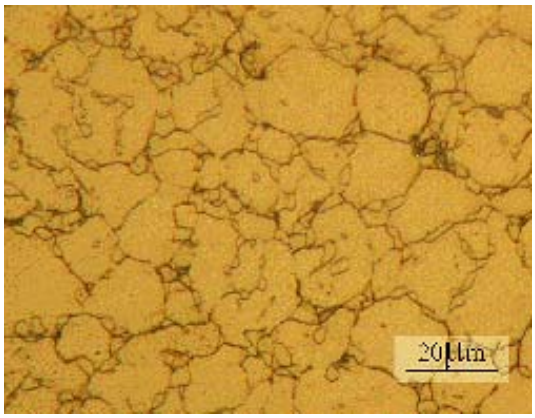


รูปที่ 2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
แสดงลักษณะของผงทังเสตน

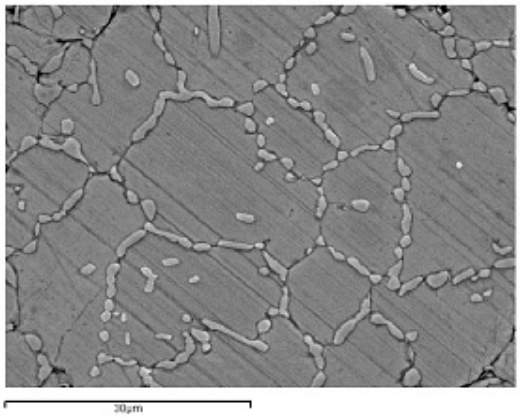
ก) ผงทังเสตนสำเร็จรูป

ข) ผงทองแดง

ค) ผงทังเสตนผสมทองแดง



ก) กล้องจุลทรรศน์แบบแสง



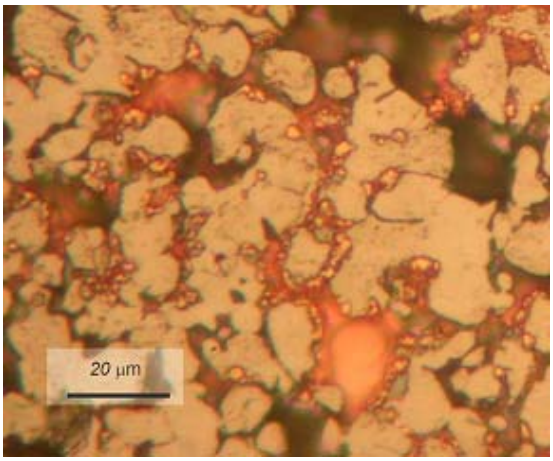
ข) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

รูปที่ 3 โครงสร้างจุลภาคของผงเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ผสม ซิลิกอนคาร์ไบด์

จากรูปที่ 3 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเนื้อวัสดุมีความสม่ำเสมอดี โดยแสดงลักษณะเกรนและปรากฏเฟสตกตะกอนที่ขอบเกรนโดยทั่วทั้งชิ้นงาน ที่น่าสังเกตคือ ภายในเกรนของ 316L ไม่ปรากฏลักษณะลายเส้นทวิน (Twin line) ซึ่งมักจะปรากฏในเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนเนติก

จากการใช้เทคนิคการแสกนเชิงเส้นผ่านเฟสดังกล่าว พบว่ามีปริมาณของโครเมียมและคาร์บอนสูงกว่าบริเวณอื่น ในขณะที่ซิลิกอนกระจายตัวอยู่ทั่วไปในเนื้อเกรน จากข้อมูลดังกล่าวอาจสรุปได้ว่าเมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อน จะเกิดการแพร่ของอะตอม โดยซิลิกอนในผงซิลิกอนคาร์ไบด์แพร่เข้าไปในเนื้อเกรน 316L ในขณะที่โครเมียมจากเนื้อ 316L แพร่มาที่บริเวณขอบเกรนและเกิดเฟสของโครเมียมคาร์ไบด์ขึ้นที่ขอบเกรนทั่วทั้งชิ้นงาน

หากพิจารณาในเรื่องการผสม ถือได้ว่ามีการผสมเข้ากันได้ดี แต่ในเชิงสมบัติของวัสดุ การสูญเสียโครเมียมไปจากเกรนของ 316L อาจส่งผลต่อสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมอาจจะมีปริมาณโครเมียมไม่เพียงพอในการสร้างฟิล์มออกไซด์และเกิดการเป็นสนิมขึ้นได้เมื่อนำไปใช้งาน



รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของผงทังเสตน ผสมผงทองแดง จากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง

จากรูปที่ 4 พบว่า การกระจายตัวของอนุภาคทองแดงยังไม่ดีนัก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่อนุภาคผงทองแดงมีขนาดใหญ่ (ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 45 ไมครอน) ไม่สามารถแทรกตัวเข้าไประหว่างผงทังเสตนได้ดี ถึงแม้ว่าทองแดงจะเกิดการหลอมตัวในระหว่างกระบวนการเผาประสาน (เนื่องจากจุดหลอมเหลวต่ำกว่าอุณหภูมิเผาประสาน) แต่การแทรกตัวของน้ำทองแดงไปตามช่องว่างของผงทังเสตนเพื่อให้เกิดปรากฏการณ์เผาประสานในสถานะของเหลว (Liquid phase sintering) ก็ยังไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการกระจายตัวนั่นเอง

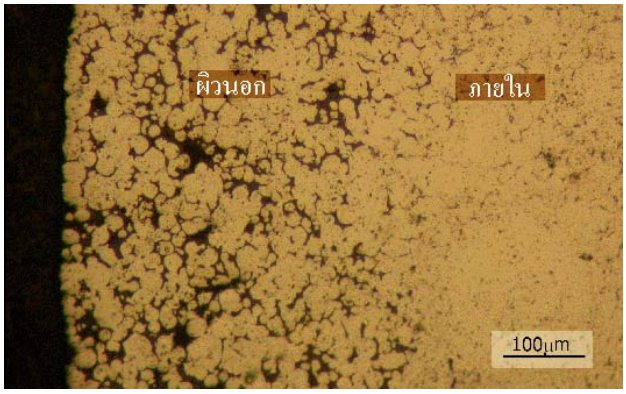
3.4 การทดลองอัดรีดผงวัสดุ

ในขั้นตอนสุดท้ายของการทดลอง ได้ทดลองอัดรีดผงวัสดุด้วยเครื่องอัดรีดแนวดิ่งขนาด 100 ตัน โดยใช้อุณหภูมิอัดรีด 180 องศาเซลเซียส พบว่าผงเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ผสมซิลิกอนคาร์ไบด์สามารถอัดรีดชิ้นงานได้อย่างสม่ำเสมอ มีผิวเรียบ และยึดเกาะตัวดีพอสมควร ในขณะที่ผงทังเสตนผสมทองแดง ชิ้นงานอัดรีดมีผิวขรุขระและชิ้นงานมีเนื้อไม่สม่ำเสมอและขาดจากกันเป็นชิ้นสั้นๆ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความไม่สม่ำเสมอของเนื้อผง

ภายหลังนำชิ้นงานอัดรีดทรงกระบอกไปเผาไล่ตัวประสานและเผาประสานแล้ว พบว่าสามารถเผาประสานได้โดยมีการบิดเบี้ยวเล็กน้อย เปอร์เซนต์การหดตัวของชิ้นงานในแนวรัศมีถูกคำนวณจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานเทียบกับขนาดของแม่พิมพ์ จากการทดลองพบว่าชิ้นงาน 316L ผสมซิลิกอนคาร์ไบด์มีการหดตัว 5.0 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ชิ้นงานทังเสตนผสมทองแดงมีการหดตัว 7.4 เปอร์เซ็นต์

เมื่อนำชิ้นงาน 316L ผสมซิลิกอนคาร์ไบด์มาตัดและขัด เพื่อดูพฤติกรรมการแน่นตัวในแนวภาคตัดขวาง พบว่าเนื้อชิ้นงานที่บริเวณผิวมีการยึดเกาะตัวไม่ดีเท่าที่บริเวณเนื้อใน ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นผลจากแรงเสียดทานระหว่างผงกับแม่พิมพ์ในระหว่างการอัดรีด ซึ่งทำ

ให้เนื้อผงวัสดุแยกตัวจากกัน และส่งผลมาถึงการเผาประสานในขั้นตอนต่อมาด้วย



รูปที่ 5 แสดงผิวด้านนอกและเนื้อชิ้นงานภายในชิ้นงาน 316L ผสมซิลิกอนคาร์ไบด์ จากภาคตัดขวางของชิ้นงานที่ผ่านการอัดรีดและเผาประสาน

4. สรุปผลการทดลอง

1. ผงสำเร็จรูปสำหรับฉีดขึ้นรูปสามารถนำมาดัดแปลง เพื่อใช้ในกระบวนการอัดรีดได้ โดยปริมาณตัวประสานในผงสำเร็จรูปทั้งสองชนิดไม่เท่ากัน โดยผงเหล็กกล้าไร้สนิม 316L มีปริมาณโพลิเมอร์ผสมอยู่ 8.23 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในขณะที่ผงทังเสตน มีปริมาณโพลิเมอร์ผสมอยู่ 6.31 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. การผสมผงวัสดุอื่นลงในผงสำเร็จรูปสามารถทำได้โดยใช้อุณหภูมิในการผสม 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยส่วนผสมสามารถเข้ากันได้ดี และโพลิเมอร์ไม่เกิดการสลายตัวมากจนเกินไป
3. ชิ้นงาน 316L ผสมซิลิกอนคาร์ไบด์เกิดการแพร่ของอะตอมซิลิกอนและโครเมียม โดยซิลิกอนในผงซิลิกอนคาร์ไบด์แพร่เข้าไปในเนื้อเกรน 316L ในขณะที่โครเมียมจากเนื้อ 316L แพร่มาที่บริเวณขอบเกรนและเกิดเฟสของโครเมียมคาร์ไบด์ขึ้นที่ขอบเกรนทั่วทั้งชิ้นงาน
4. ชิ้นงานทังเสตนผสมทองแดง มีการกระจายตัวของเนื้อผงไม่ดีนัก เนื่องจากผงทองแดงมีขนาดใหญ่ ถึงแม้จะเกิดการหลอมตัวและเผาประสานในสภาวะของเหลวได้ แต่เนื้อทองแดงไม่สามารถแทรกตัวเข้าในรูพรุนของชิ้นงานได้อย่างทั่วถึง
5. เนื้อชิ้นงานที่บริเวณผิวรอบนอกมีการยึดเกาะตัวไม่ดีเท่าที่บริเวณเนื้อใน ซึ่งเป็นผลจากแรงเสียดทานระหว่างผงกับแม่พิมพ์ในระหว่างการอัดรีด ซึ่งทำให้เนื้อผงวัสดุแยกตัวจากกัน และส่งผลมาถึงการเผาประสาน ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในการอัดรีดให้สูงขึ้น แต่ทั้งนี้ต้องระวังมิให้อุณหภูมิสูงเกินไป จนส่วนผสมเหลวและไม่สามารถคงรูปอยู่ได้
6. จากการนำส่วนผสมไปทดลองอัดรีด พบว่าเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ผสมซิลิกอนคาร์ไบด์สามารถอัดรีดได้ ในขณะที่ผงทังเสตนผสมทองแดงยังต้องการการพัฒนาเพื่อให้อัดรีดได้ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Randall M.German, 1997, Powder metallurgy science, MPIF, New Jersey
2. O. Coovattanachai et all, 2006, Effect of Admixed Ceramic Particles on Properties of Sintered 316L Stainless Steel, In proceeding of 2006 MPIF/APMI International Conference on Powder Metallurgy and Particulate Materials, Sandiago, California, June 18-21 2006
3. Shi-Bo Li, Jian-Xin Xie, 2007, “Fabrication of Thin-walled 316L stainless steel seamless pipes by extrusion technology”, Material Processing Technology, pp 57-61
4. Daren Li, Zuyan Liu, Yang Yu, Erde Wang, 2006, “The influence of mechanical milling on the properties of W-40wt.% Cu composite produced by hot extrusion” Journal of alloys and compounds, pp 94-98
5. Shi-Bo Li, Jian-Xin Xie, 2006, “Processing and microstructure of functionally graded W/Cu composites fabricated by multi-billet extrusion using mechanically alloyed powders” Composite science and technology, pp 2329-2336